

埼玉大学工学部 正員 ○佐藤邦明
 福井大学工学部 正員 福原輝幸

1. はじめに

地下空洞の建設に関する水理問題の主なものは空洞建設、施工時前・時後の地下水位低下・湧水量の経時変化および塩水くさびの侵入、さらにこれらの水に及ぼす降雨浸透の影響が挙げられる。この種の諸問題の中で、複雑な境界条件での地下密度流の非定常挙動は必ずしも解析できないのが現状である。また、実験結果をどのようにに現地に適用すればよいかについても検討の余地がある。こうした背景をふまえて、本研究では地下空洞建設に伴う岩盤地山中の地下密度流の非定常解析に対して境界積分方程式法の適用を試みた。以下に得られた結果を報告する。

2. 境界条件の構成および解析手順

解析は図-1に示すような不圧状態の岩盤地山を対象とする。浸透流問題の多くはラプラス方程式の内部混合型境界値問題であり、本モデルも例外ではない。境界条件の構成は図-1に示されるとおりであり、ピエゾ水頭 ϕ およびその法線方向微分 $\partial\phi/\partial n$ を用いて表-1のように要約される。このモデルでは淡水域を添字1、塩水域を2で区別し、これらは図表に対応している。モデルに含まれる仮定は以下の3つである。

(i) 海成の流れは静止している。(ii) 淡水は海成に流出すると直ちに塩水と混合する。(iii) 地山中の淡水と塩水の界面混合、拡散は無視できる。境界積分方程式を離散化し、未知境界量を決定するまでの過程はすでにいくつか文献がある。本報における淡塩界面の非定常解析のための手順を図-2のフローチャートで示す。

3. 解析結果および考察

最初に解析手法の妥当性を検証するために、ヘル・シヨウ装置を用いた非定常実験の結果²⁾と計算値の比較を行なう。結果は図-3および図-4に示される。

解析は空洞を設けて後2分までの自由水面、淡塩境界面および空洞からの湧水量の経時変化を再現しているが、この間における計算値と実験値は良好に一致する。湧水量に関して計算値の方が実験値に比べて少し大きくなっているが、これは空洞部分の要素数が少ないために空洞隅角部に最も近い境界要素の $\partial\phi/\partial n$ が特異点の影響を受けて過大評価されやすいことに起因する。また、この

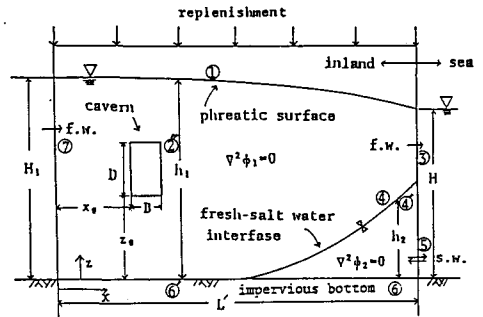


図-1 空洞の解析モデル

表-1 境界条件の構成

境界番号	境界名称	境界条件
①	自由水面	$\phi_1 = h_1$ (h_1 : 淡水位)
② ②'	浸出面	$\phi_1 = z$ (z : 鉛直距離)
③	地下空洞	$\phi_1 = P_0/\rho_1 g + z$ (P_0 : 空気圧)
③ ③'	淡水流出面	$\phi_1 = SH - (S-1)z$, $S = \rho_2/\rho_1$ (H : 海水位)
④ ④'	淡塩境界面	$\phi_1 = S\phi_2 - (S-1)h_2$, $\partial\phi_1/\partial n = -(k_2/k_1)\partial\phi_2/\partial n$
⑤ ⑤'	塩水流出入面	$\phi_2 = H$
⑥ ⑥'	底部不透透面	$\partial\phi_1/\partial n = \partial\phi_2/\partial n = 0$
⑦	上流境界面	$\phi_1 = H_1$

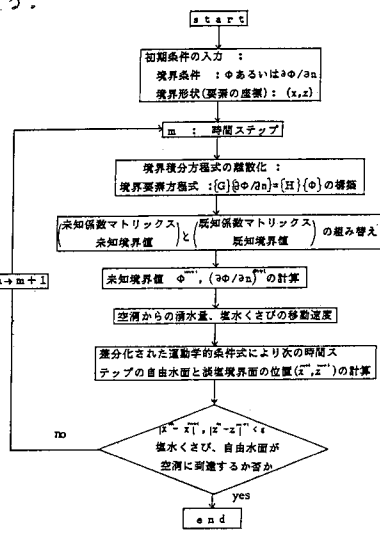


図-2 計算のフローチャート

場合計算を途中で打ち切った理由は分以降に自由水面が空洞に到達し、5分以降に浸塩境界面の一部が自由水面と接することにより、境界要素方程式中の係数マトリクス中味が複雑となること、および本報の目的があくまで非定常自由水面・内部境界問題に対して境界積分方程式法が基本的に有効であるかどうかを吟味することにあるためである。

次に、現地スケールの空洞モデルに本解析スキームの適用を試みる。空洞は2連設(空洞中心間距離30m)とし、空洞幅B(=15m)と空洞高さDとの比B/D=0.5の矩形断面とする。空洞の位置は海岸から1200m、海面下50mの地点とする。地山表面からの浸透量ωはω/k=0.081(透水係数k=2×10⁻⁷m/Sec)で一定とし一様とする。

図-5は自由水面と浸塩境界面の経時変化を示しており、自由水面は湧水発生後急激に低下し始め、特に空洞上部での低下が著しい。水面低下はその後緩慢となり、十分時間が経過した時点で停止し水面形状は定常となる。一方、塩水くさびは陸側に向かって進行し続け、くさびの先端は約900年で100m程度侵入し、海岸での浸塩境界面は約25m上昇すると算定される。空洞鉛直上の水面低下量h_Lの経時変化を図-6に示すが、最終的にはh_L/D≒2.0で一定となる。

図-7は空洞地山の水収支に関与する上流側(境界⑦)からの淡水流出量q₀および空洞の湧水量q(=q_e+q_r, q_e:陸側空洞の湧水量, q_r:海側空洞の湧水量)のハイドログラフを示す。湧水量はq_e>q_rの関係にあり、連設の場合は陸側に向かって湧水量は増大すると考えられる。しかしながら各空洞の湧水ハイドログラフの増減特性に大きな差異はない。q_eとq₀のハイドログラフの特性は大きく分違い、前者は最初増大しその後一定となるのに対して、後者は最初に減少した後一定となる。この一連のハイドログラフは空洞地山の地下水文環境を評価する上で重要な資料の一つとなりえよう。

(参考文献)

- 1) J. A. Liggett & P. L. F. Liu, : The boundary Integral Equation Method for Porous Media Flow, George Allen & Unwin, 1983.
- 2) 伊藤洋也: 地下空洞建設に伴う地下密度流に関する実験的研究, 土木年講, 558

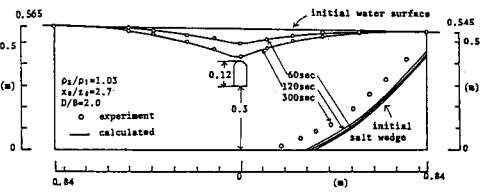


図-3 自由水面と浸塩境界面の経時変化

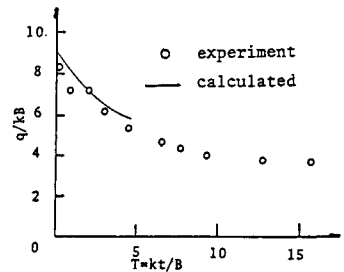


図-4 湧水ハイドログラフ

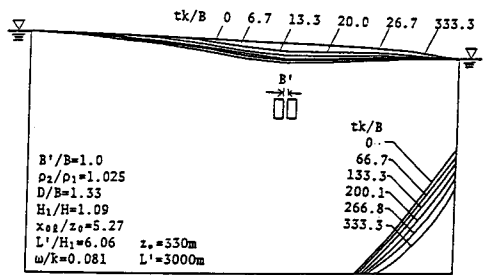


図-5 自由水面と浸塩境界面の経時変化

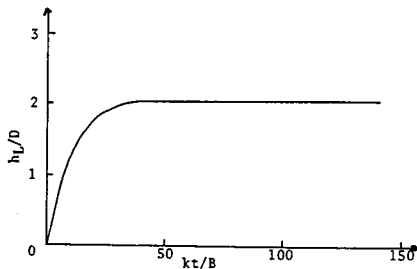


図-6 自由水面低下の経時変化 (空洞鉛直上)

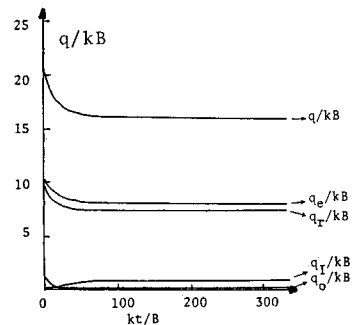


図-7 流入・流出・湧水ハイドログラフ